

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DE MAMONA CULTIVADA EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL TRATADA COM LODO DE ESGOTO⁽¹⁾

Jonas Jacob Chiaradia⁽²⁾, Marcio Koiti Chiba⁽³⁾, Cristiano Alberto de
Andrade⁽⁴⁾, Claudeir de Oliveira⁽⁵⁾ & Arquimedes Lavorenti⁽⁶⁾

RESUMO

A utilização de lodo de esgoto (LE) em solos agrícolas é uma das maneiras mais viáveis de destinação desse resíduo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de LE na nutrição e na produtividade da mamona cultivada em área de reforma de canavial, num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa. Os tratamentos testados constaram de quatro doses de lodo de esgoto: 0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹ (base seca), calculadas para fornecer N equivalente a 0, 37,5, 75 e 150 kg ha⁻¹; um tratamento com fertilização mineral N-P₂O₅-K₂O (75-40-80 kg ha⁻¹ respectivamente) e um controle sem qualquer fertilização. Os tratamentos com LE também receberam 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O. A mamoneira, cultivar IAC-Guarani, foi cultivada por cerca de 180 dias entre novembro de 2004 e maio de 2005. A aplicação de LE resultou em incremento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) na produtividade e em outras características biométricas da mamona. A aplicação da dose equivalente a 10 t ha⁻¹ de lodo resultou em um índice de eficiência agrônômica de 85 %, em relação à adubação mineral. A disponibilidade de N foi o fator mais limitante no crescimento e na produtividade da mamona, e a taxa de mineralização do N utilizada subestimou o fornecimento de N pelo lodo em campo. Houve aumento significativo de Cu e Zn no solo com a

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Recebido para publicação em abril de 2008 e aprovado em março de 2009.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr. Biossolo Agricultura & Ambiente Ltda. Rua Campos Salles 1818, sl 24, CEP 13416-310 Piracicaba (SP). E-mail: jonas@biossolo.com.br

⁽³⁾ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Avenida Barão de Itapura 1481, CEP 13020-902 Campinas (SP). E-mail: mkchiba@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC. E-mail: andrade@iac.sp.gov.br

⁽⁵⁾ Estudante do Curso de Engenharia Agrônômica, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas, Setor de Química Analítica, ESALQ/USP. E-mail: alavoren@esalq.usp.br

aplicação das doses de lodo, mas tanto os teores no solo quanto na planta estiveram dentro dos limites aceitos pela legislação ambiental.

Termos de indexação: *Ricinus communis* L., biossólido, nutrição de planta, nitrogênio.

SUMMARY: YIELD AND PLANT NUTRITION OF CASTOR BEAN IN CROP ROTATION WITH SUGARCANE IN A SEWAGE SLUDGE-TREATED SOIL

The use of sewage sludge (SS) in agricultural soils is one of the most viable forms of recycling this residue. The purpose of this study was to investigate the effect of SS application on castor bean yield and nutrition in a clayey dystrophic Ultisol following a rotation of sugarcane. The treatments tested were four sewage-sludge rates (0, 5, 10, and 20 t ha⁻¹, dry matter) calculated to supply plants with N at amounts of 0, 37.5 kg ha⁻¹, 75 kg ha⁻¹ and 150 kg ha⁻¹; mineral fertilization with N-P₂O₅-K₂O (75-40-80, respectively) and a control without fertilization. Castor bean, cultivar IAC-Guarani, was grown for 180 days, from November 2004 to May 2005. There was a significant (p<0.05) increment of castor bean yield due to SS application. The application of 10 t ha⁻¹ SS resulted in an agronomic efficiency index of 85 %, compared to mineral fertilization. Nitrogen was the most limiting nutrient concerning yield and plant growth and the nitrogen mineralization rate used underestimated the N supplied by SS under field conditions. Applying SS at the studied rates led to an increment of soil Cu and Zn contents, but metal contents in soil and plant tissues still were within the limits established by the environmental legislation.

Index terms: Ricinus communis L.; biosolids; plant nutrition, nitrogen.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes originados da aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas são necessários para o estabelecimento de alternativas ambientais economicamente viáveis para a disposição desses materiais. Em campo, o conteúdo de N dos resíduos tem sido o fator limitante na definição da dose aplicada, tendo em vista os problemas ambientais que o excesso desse nutriente pode causar. Resíduos de natureza orgânica como o lodo de esgoto (LE) já são utilizados no Brasil, predominantemente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Silva et al., 1998; Chiba et al., 2008a), bem como nas culturas do eucalipto (Andrade & Mattiazzo, 2000) e café (Bettiol & Camargo, 2000). A utilização desses resíduos visa, principalmente, ao fornecimento de N para as plantas, sendo este o principal critério utilizado pela legislação ambiental para o cálculo das doses a serem aplicadas (CETESB, 1999; Brasil, 2006). Apesar de presentes no LE, os metais pesados têm apresentado resultados pouco consistentes quanto à efetiva contaminação do solo (Anjos & Mattiazzo, 2000; Chiba et al., 2008b) e à sua transferência para a cadeia trófica, o que todavia não exige a necessidade de monitoramento periódico de seus teores no solo.

O potencial de utilização do LE em áreas ocupadas pela lavoura canavieira é grande. Apenas no Estado

de São Paulo, há mais de dois milhões de hectares cultivados e, desse total, anualmente, cerca de 250 mil ha passam pelo processo de reforma do canavial (UNICA, 2005). Na reforma do canavial, novas mudas são plantadas em época adequada ao ciclo de cultivo (cana de ano ou cana de ano e meio) e às características da variedade utilizada. Nas áreas sob reforma, e visando otimizar o uso da terra no intervalo entre plantios de cana-de-açúcar, algumas culturas podem ser utilizadas em rotação, o que, além de incrementar a fertilidade do solo, gera renda numa época em que a terra não está sendo utilizada. Uma das opções de cultivo para a rotação na reforma do canavial é a mamona.

Do ponto de vista industrial, os frutos da mamoneira são totalmente aproveitados na extração do óleo, seu produto principal, gerando também como subproduto a torta, que pode ser utilizada como adubo orgânico, além de apresentar efeito nematicida no solo (Savy Filho, 2001; Beltrão et al., 2002). A matéria-prima da mamona é de custo relativamente elevado, com aplicações diretas em várias áreas desde a indústria cosmética até a de biocombustíveis. Deve-se ressaltar que, para alcançar produtividades economicamente viáveis com a cultura da mamona, é preciso suprir adequadamente as necessidades nutricionais da planta. A exigência da planta de mamona por N está na faixa entre 60 e 80 kg ha⁻¹ para uma produção de grãos de cerca de 2.000 kg ha⁻¹

(Canecchio Filho & Freire, 1958; Silva et al., 2007; Doneda et al., 2007). A deficiência deste nutriente acarreta redução no crescimento da planta e provoca o amadurecimento precoce dos frutos, ocasionando perdas na qualidade e quantidade de grãos (Malavolta et al., 1989).

Assim, a utilização de LE como fonte de N na adubação da mamoneira é uma alternativa que permite economia de recursos em relação à adubação tradicional com preservação ambiental, desde que a aplicação do resíduo seja feita com o devido acompanhamento técnico. Nascimento et al. (2006), avaliando índice de área foliar e número de folhas da mamoneira, verificaram efeito positivo de doses de lodo de esgoto que resultaram num aporte de N equivalente a 75 e 150 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, a aplicação de até 60 kg ha⁻¹ de N mineral também aumentou significativamente a produção de grãos da cultura (Silva et al., 2007), o que reforça a importância do aporte de N para a mamona.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto, como fonte de N, na nutrição e produtividade da mamoneira (*Ricinus communis*), cultivar IAC-Guarani, utilizada em rotação de culturas, em área de reforma de canavial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Boa Esperança, município de Capivari, Estado de São Paulo (22° 55' 45" S e 47° 33' 58" O), altitude de 550 m e precipitação pluvial média anual de 1.355 mm. O clima da região é do tipo Cwa (classificação de Köppen) tropical, úmido, com inverno seco, verão quente e úmido (Figura 1).

O solo, um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) textura argilosa, apresentou na camada de

0–0,2 m de profundidade os seguintes atributos: pH-CaCl₂ = 4,4; C-org. = 9,50 g kg⁻¹; P-resina = 7,0 mg dm⁻³; K = 0,1 cmol_c dm⁻³; Ca = 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,2 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,2 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) = 0,9 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (T) = 3,15 cmol_c dm⁻³; saturação por bases (V) = 29,0 %. O local de instalação do experimento foi escolhido por se tratar de uma região que tem sido cultivada consecutivamente, durante cerca de 30 anos, com cana-de-açúcar, sem receber qualquer outra cultura.

Para avaliar o lodo de esgoto (LE) como fonte de N e outros nutrientes de planta, foram testadas quatro doses suficientes para fornecer o equivalente a zero, metade (37,5 kg ha⁻¹ de N), uma vez (75 kg ha⁻¹ de N) e duas vezes (150 kg ha⁻¹ de N) a necessidade de N pela cultura (NNC). A taxa de mineralização do N (TMN) do LE foi igual a 28 % (obtida em ensaio preliminar). A determinação da dose de LE na época de instalação do experimento seguiu as instruções da norma técnica P4.230 (CETESB, 1999).

Para o fornecimento dessas doses de N foi aplicado LE nas doses 0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de LE em base seca. Também foi testado um tratamento com fertilização mineral completa tipo NPK, constituído de 75 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, conforme Savy Filho (2001). Fósforo (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e K (40 kg ha⁻¹ K₂O) foram aplicados em todos os tratamentos com LE, e o tratamento com NPK recebeu N parceladamente, sendo 15 kg ha⁻¹ na semeadura e o restante (60 kg ha⁻¹) 30 dias depois, em cobertura.

O LE foi obtido na Companhia de Saneamento de Jundiaí (CSJ), originado do tratamento de esgotos predominantemente domésticos por meio de um processo conhecido como lagoas aeradas de mistura completa, seguidas de lagoas de decantação. O resíduo foi retirado das lagoas de decantação após 1 ano de residência e apresentando 2 % de sólidos. A desidratação foi realizada após adição de polímero sintético e centrifugação mecânica, resultando num material com umidade entre 72 e 80 %. O lodo foi seco ao ar, sob cobertura plástica durante 120 dias com revolvimento periódico das leiras, resultando num material com 40 % de sólidos e praticamente livre de patógenos (Quadro 1).

A área escolhida para a implantação do ensaio esteve cultivada com cana-de-açúcar até julho de 2004, quando foi realizado o corte dos colmos, e o solo permaneceu sob pousio de julho a setembro de 2004. Na primeira semana de setembro foi aplicado calcário dolomítico (PRNT = 67 %), suficiente para elevar a saturação por bases para 60 % e teor de Mg a um mínimo de 5 mmol_c dm⁻³ (Savy Filho, 2001).

Cerca de 60 dias após a calagem, LE foi aplicado, em faixas, na superfície do solo. Cinco dias após a aplicação do lodo, em 30 de novembro de 2004, foram

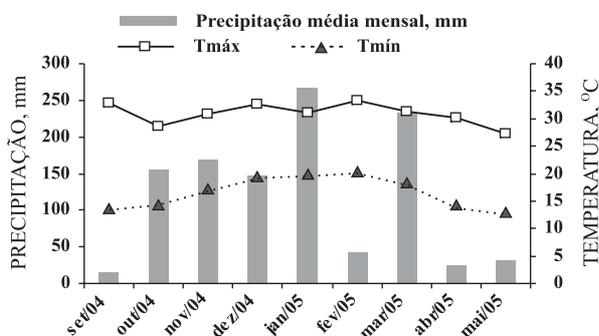


Figura 1. Precipitação pluvial média mensal e temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) observadas durante o cultivo da mamona, cv. IAC-Guarani, entre setembro de 2004 e maio de 2005.

Quadro 1. Características químicas do lodo de esgoto utilizado no cultivo da mamoneira em área de reforma de canavial

Característica	Valor
pH	5,80
Umidade ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	583,30
N-total ^(1, 3) (g kg ⁻¹)	27,08
C orgânico ^(1, 4) (g kg ⁻¹)	289,10
P ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	5,51
K ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	2,75
Ca ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	10,34
Mg ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	14,93
Fe ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	15,01
B ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	14,80
Cu ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	800,00
Mn ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	429,00
Zn ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹)	874,00
Cd ^(1, 5) (mg kg ⁻¹)	12,50
Pb ^(1, 5) (mg kg ⁻¹)	106,00
Cr ^(1, 5) (mg kg ⁻¹)	108,10
Ni ^(1, 5) (mg kg ⁻¹)	30,30
TMN ⁽⁶⁾ (%)	28,00

⁽¹⁾ Todos os valores de concentração são dados com base na matéria seca. ⁽²⁾ Umidade por perda de massa a 60 °C. ⁽³⁾ N total Kjeldahl; ⁽⁴⁾ Carbono orgânico: digestão com dicromato. ⁽⁵⁾ EPA SW-846-3051 (EPA, 1986). ⁽⁶⁾ Taxa de mineralização do nitrogênio do lodo.

realizadas a semeadura da mamona e a aplicação dos adubos. A semeadura da mamona, cultivar IAC-Guarani, foi realizada manualmente em profundidade de 5 cm, semeando-se duas a três sementes por cova em espaçamento de 1,30 x 0,75 m, totalizando uma população de 10.000 plantas ha⁻¹, em parcelas experimentais de 14 x 8 m. Este cultivar foi escolhido por se tratar de um dos mais recomendados para o Estado de São Paulo em função do potencial produtivo para as condições edafoclimáticas (Savy Filho, 2005).

Cerca de 30 dias após a emergência, foi feito um desbaste, deixando-se uma planta por cova. Por ocasião do florescimento, entre 60 e 70 dias após a semeadura, realizou-se a amostragem foliar para avaliação da nutrição das plantas. Tendo em vista a homogeneidade de crescimento das plantas para um mesmo tratamento, dentro das parcelas foram marcadas, aleatoriamente, 10 plantas, e foi coletada a quarta folha a partir do ápice de cada uma. As folhas foram lavadas em água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65 °C durante 72 h (Malavolta et al., 1989). Após a secagem, foram separadas em limbo e pecíolo, moídas e passadas em peneira com diâmetro de malha de 1 mm. Nessas amostras, foram determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme método descrito por Bataglia et al. (1983).

O solo foi amostrado, na mesma época da coleta de folhas, com trado tipo holandês, na camada de 0–20 cm de profundidade, retirando-se uma amostra composta de 15 amostras simples por parcela experimental. O solo foi destorroado, seco, passado em peneira com abertura de malha de 2 mm e encaminhado, para as determinações químicas, segundo método descrito por Raij et al. (2001).

As plantas foram cultivadas por cerca de 180 dias, e a colheita das folhas foi realizada em 25 de maio de 2005. Verificou-se a altura das plantas, o número de cachos por planta e coletou-se o cacho primário em 10 plantas por parcela. Os cachos foram cortados em sua base, com uma tesoura de poda, e medidos. Foram acondicionados em sacos de papel perfurados e postos para secar em estufa de circulação de ar, a 60 °C, para a uniformização da umidade, durante 24 h. Em cada cacho efetuou-se a contagem do número total de frutos. Depois de secos, os frutos foram abertos manualmente, contando-se o número de grãos e quantificando a massa de grãos por cacho. A produtividade foi estimada utilizando-se o peso dos grãos (após correção da umidade para 13 %), a produção por planta e o número de plantas por área. Com base nas produtividades dos tratamentos NPK, tomada como padrão, e da testemunha, sem fertilização, foi calculado o índice de eficiência agrônômica (IEA) para os tratamentos com lodo a partir da equação 1:

$$IEA = \left[\frac{\text{prod. LE} - \text{prod. testemunha}}{\text{prod. NPK} - \text{prod. testemunha}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e, quando o efeito das doses de lodo de esgoto foi significativo, aplicou-se a análise de regressão. O nível de significância adotado, tanto para a ANOVA quanto para as regressões, foi de 5 %. Adicionalmente, realizou-se análise de correlação linear simples entre os teores de nutrientes na planta e as características biométricas avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fertilidade do solo

O lodo de esgoto utilizado neste trabalho apresentava condições de ser aplicado em área agrícola e atendia aos requisitos de qualidade estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 2006) com relação aos teores de metais pesados (Quadro 1) e de patógenos (dados não apresentados). Não foram verificados efeitos significativos dos tratamentos nos valores de pH, no conteúdo de carbono orgânico (C-org.) e na capacidade de troca catiônica (T) do solo. Os valores médios ± erro-padrão da média desses atributos foram iguais a: pH = 4,83 ± 0,053; C orgânico = 9,95 g dm⁻³ ± 0,37; T = 3,70 cmol_c dm⁻³ ± 1,39. Com relação ao efeito do aporte de LE no conteúdo

de C-org do solo e no valor de T, deve-se salientar que o tipo de tratamento aplicado pela ETE, provavelmente resultou num material cuja fração orgânica é praticamente recalcitrante (Bertoncini et al., 2005), pouco contribuindo efetivamente para o incremento do teor de C-org do solo. Este, por sua vez, também apresentou baixo valor de T, que, somado ao fato de o LE utilizado não apresentar caráter alcalino, não contribuiu na geração de cargas elétricas dependentes. Resultados similares foram apresentados por outros autores que também trabalharam com o LE produzido pela mesma ETE que gerou o lodo utilizado nesta pesquisa (Andrade et al., 2005; Chiba, 2005). Adicionalmente, outra explicação para a manutenção do conteúdo de C-org no solo após a aplicação de doses de LE pode estar relacionada com os resultados apresentados por Skejstad & Taylor (1999), que demonstraram que a determinação de C-org via oxidação com dicromato pode representar, em determinadas situações, apenas 56 % do C presente nas amostras analisadas. Isto também pode, em parte, explicar os resultados obtidos.

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) das doses de LE nos teores de P, B, Cu e Zn do solo, na camada de 0–20 cm de profundidade (Figura 2). Em relação ao P, outros trabalhos científicos também verificaram aumento da sua disponibilidade no solo com a aplicação de LE (Silva et al., 1998; Maguire et al., 2000; Correa, 2004). O mesmo efeito também foi relatado com relação aos teores de Cu e Zn em solo tratado com LE (Martins et al., 2003; Nascimento et al., 2004). Tendo em vista que não foram utilizadas outras fontes desses elementos, os resultados apresentados corroboram com os citados anteriormente, indicando que o LE pode ser considerado uma fonte significativa de Cu e Zn.

Os modelos matemáticos ajustados aos teores dos elementos químicos no solo indicam uma disponibilidade crescente de P, B, Cu e Zn com as doses de lodo (Figura 2). Outros trabalhos também relataram o aumento na disponibilidade desses elementos com a adição de LE ao solo (Silva et al., 1998; Simonete et al., 2003; Borges & Coutinho, 2004). Esses resultados devem ser avaliados com certa ressalva e sempre considerando a biodisponibilidade dos metais pesados, que, segundo Chang et al. (1997), é da ordem de cerca de 1 % da quantidade total adicionada ao solo via LE.

As quantidades totais de B, Cu e Zn aportados no solo com a aplicação da dose de 10 t ha⁻¹ de lodo, em base seca, foram iguais a 0,35, 1,90 e 2,08 kg, respectivamente. Tendo por base a mesma quantidade de LE e a carga acumulada teórica permitida de metais pesados no solo pela aplicação de LE no país (Brasil, 2006), o elemento mais limitante seria o Cu, que atingiria o valor limite em cerca de 72 anos.

Com relação aos metais pesados potencialmente tóxicos, Chiba et al. (2008b), após dois anos de experimentação em campo, não evidenciaram efeito estatisticamente significativo ($p > 0,05$) da aplicação de 30 t ha⁻¹ de LE produzido pela mesma ETE (CSJ) nos teores de Cd, Pb, Cr e Ni. Efeitos deletérios de metais pesados no solo a partir da aplicação de LE são raros, tendo em vista que Anjos & Mattiazzo (2000) não relataram comprometimento da qualidade de dois solos com dose de até 388 t ha⁻¹ de lodo. Dessa forma, apesar dos teores de metais pesados encontrados no solo estarem dentro da faixa considerada como adequada (Rodella & Alcarde, 2001), esses resultados não referendam o LE como material inócuo do ponto de vista ambiental e sim reforçam a necessidade da

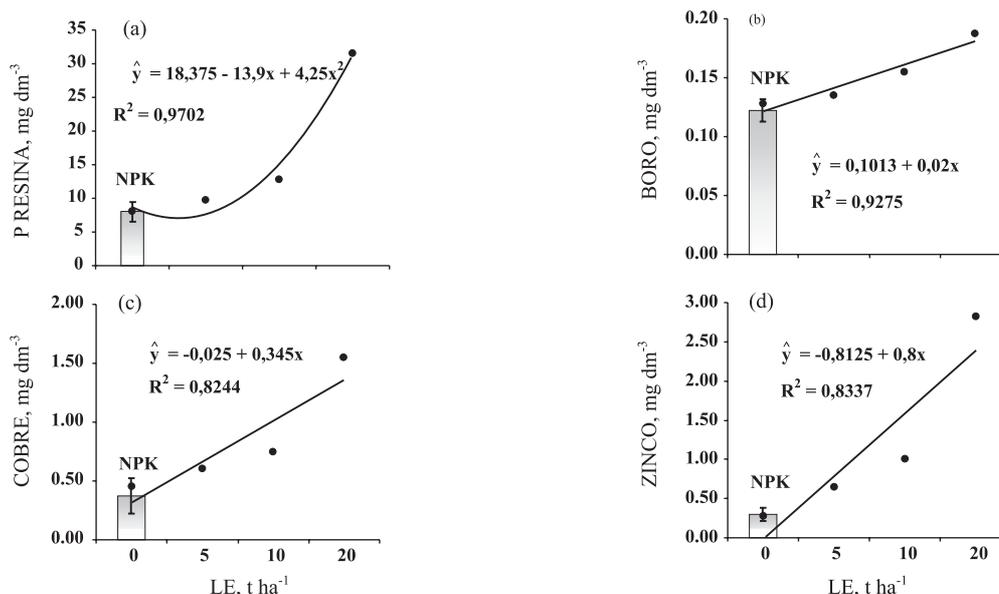


Figura 2. Teores de P, Cu, B e Zn disponíveis no solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral (NPK). O tratamento NPK é representado pela barra vertical com o desvio-padrão da média (n = 4).

continuidade de mais pesquisas sobre o assunto, de preferência de longa duração.

Teores de nutrientes na planta, produtividade e biométrica

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos nos teores foliares de P, K, Ca e Mg cujos valores médios foram iguais a 2,5, 11,7 e 3,3 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 3a), nem para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn que estavam presentes em concentração equivalente a 32,0, 10,6, 267,8, 266,3 e 32,1 mg kg^{-1} , respectivamente (Figura 3b). Com relação aos macronutrientes K, Ca e Mg, que foram aplicados em todos os tratamentos, via adubação e calagem, não era esperado efeito do LE nos seus teores. Quanto ao P, o LE pode ter disponibilizado uma quantidade semelhante à fornecida pela fertilização mineral, tal como relatado por Chiba (2005) que constatou que o LE forneceu até 35 % do P requerido por plantas de cana-de-açúcar.

Valores semelhantes aos anteriormente citados foram observados por Lavres Júnior et al. (2005) para os macronutrientes, e por Lange et al. (2005) para os micronutrientes na mamoneira, cultivar Íris, em solução nutritiva, indicando que apenas a aplicação do lodo de esgoto foi suficiente para suprir as necessidades da planta nesses elementos. Obviamente, aplicações continuadas de lodo devem ser rigorosamente monitoradas, visando ao cumprimento da legislação ambiental e à preservação da qualidade do meio ambiente.

Os teores foliares de P correlacionaram-se significativamente com o tamanho do cacho ($r = 0,47$ e $p = 0,02$) e produtividade ($r = 0,40$ e $p = 0,04$) e estão de acordo com Nakagawa (1976), que observou que o P incrementou significativamente a produção da mamoneira aumentando o número de frutos e de cachos primários. Com relação aos teores foliares dos micronutrientes e as características biométricas da cultura, houve correlação significativa entre Cu-foliar x tamanho do cacho ($r = 0,46$ e $p = 0,02$); Cu-foliar x massa de grãos ($r = 0,44$ e $p = 0,03$); Zn-foliar x tamanho do cacho ($r = 0,49$ e $p = 0,01$); Zn-foliar x produtividade ($r = 0,42$ e $p = 0,04$); Mn-foliar x massa de grãos ($r = -0,60$ e $p = 0,001$). Segundo Lange et al. (2005), a omissão de Cu e Zn não provocou sintomas visuais de deficiência e nem redução na produção de matéria seca total nas plantas.

Apesar das respostas positivas da aplicação do LE nos teores de P, B, Cu e Zn no solo (Figura 2), não houve aumentos correspondentes na absorção desses elementos pela planta.

Uma possível explicação para este fato reside na forma como esses elementos foram adicionados ao solo, via resíduo. Borges & Coutinho (2004) constataram a baixa disponibilidade de Cu e Zn em solo tratado com LE devido à interação do primeiro com a matéria

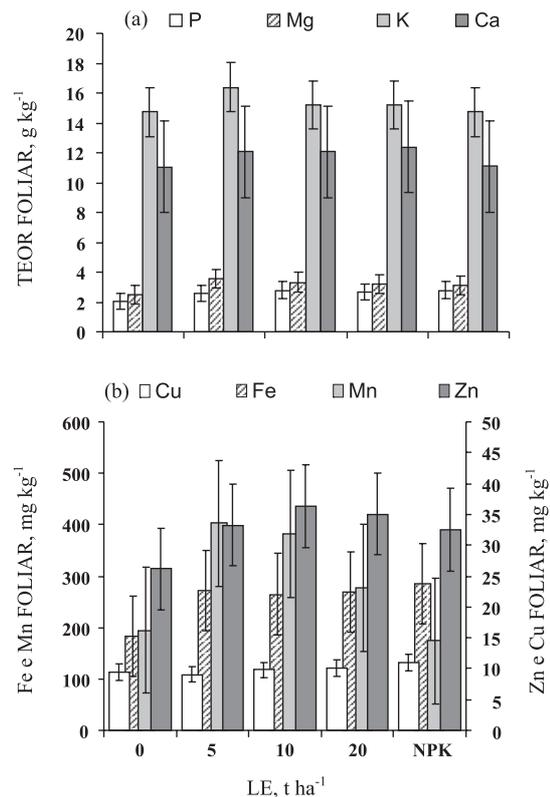


Figura 3. Teor de alguns macronutrientes (a) e micronutrientes (b) nas folhas da mamona cultivada em solo tratado com doses de lodo de esgoto e adubo mineral (NPK). Média ± desvio-padrão (n = 4).

orgânica, formando complexos estáveis, e do segundo com óxidos de Fe e Al, ambos de reduzida solubilidade. Para o N e algumas características biométricas, entretanto, verificaram-se incrementos positivos e significativos ($p < 0,05$) em função das doses de LE (Figura 4).

Houve incrementos lineares e positivos nos teores de N foliar e doses de LE, evidenciando o potencial do lodo em fornecer o nutriente para a cultura (Figura 4a). Nakagawa (1976) relatou uma produção de grãos de mamona de 700 kg ha^{-1} para o primeiro racemo ou cacho, utilizando fertilização em termos de macronutrientes totais semelhante à utilizada neste experimento. As produtividades obtidas neste experimento de 521, 738, 996, 954 e 796 kg ha^{-1} , respectivamente, com 0, 5, 10, 20 t ha^{-1} de LE e adubação NPK (Figura 4b), estão abaixo da produtividade observada para o mesmo cultivar, 2.800 kg ha^{-1} (Savy Filho, 2005). A produtividade obtida neste experimento, porém, foi superior à média nacional observada nas safras 2003/04 e 2004/05, respectivamente, de 643 e 781 kg ha^{-1} (Savy Filho, 2005) para o cultivar em questão, e estão de acordo com o relatado por Severino et al. (2006) para mamona adubada com fertilizantes orgânicos e orgânico + mineral.

Os índices de eficiência agrônômica dos tratamentos 0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹, tendo como referência o tratamento NPK, foram respectivamente iguais a 31, 85, 150 % e 140 %. Os tratamentos com 10 e 20 t ha⁻¹ apresentaram PR acima de 100 %, o que evidencia o potencial de uso do LE no cultivo da mamona com economia de fertilizantes minerais e incremento na produção.

Verificou-se redução de 69 % da produção quando não foi aplicado N (IEA = 31 %), evidenciando a importância do nutriente na produção da mamona. Entretanto, o IEA de 85 %, verificado no tratamento com 5 t ha⁻¹, no qual foi aplicado LE referente à metade da dose de N requerida, pode ser um indicativo de que a taxa de mineralização do N (TMN) utilizada, obtida em ensaio laboratorial, esteja sendo subestimada. Se, por um lado, isso possibilita aumentos de produção com menores doses de LE, por outro pode representar risco de contaminação ambiental devido ao aporte de quantidades de N disponível acima da real necessidade da cultura. Neste aspecto, são necessários mais estudos sobre a mineralização do N em campo para verificar a dinâmica da TMN.

Adicionalmente, também foram verificados efeitos positivos da aplicação de doses de LE na altura das plantas (Figura 4c), número de cachos (Figura 4d), tamanho de cachos (Figura 4e) e número de frutos (Figura 4f).

Com relação à altura das plantas, o menor valor foi encontrado no tratamento sem LE (0,80 m) e maior no tratamento NPK (1,30 m). Houve correlação significativa e positiva entre os teores foliares de N e a altura (Quadro 2). Além da altura das plantas, outros componentes biométricos correlacionaram-se positivamente com o teor foliar de N (Quadro 2), ressaltando a importância deste nutriente para a cultura. Segundo Lavres Júnior et al. (2005), a produção total de matéria seca das plantas de mamona (cv. Íris) foi alterada pela deficiência em macronutrientes, sendo N o mais limitante. O autor observou que, na deficiência de N, a produção de matéria seca total foi alterada em até 68 % em relação ao tratamento que recebeu N. Essa redução foi similar à encontrada neste experimento e igual a 61,5 % do tratamento NPK em relação ao tratamento sem lodo. Possivelmente, a nutrição deficiente em N limitou o

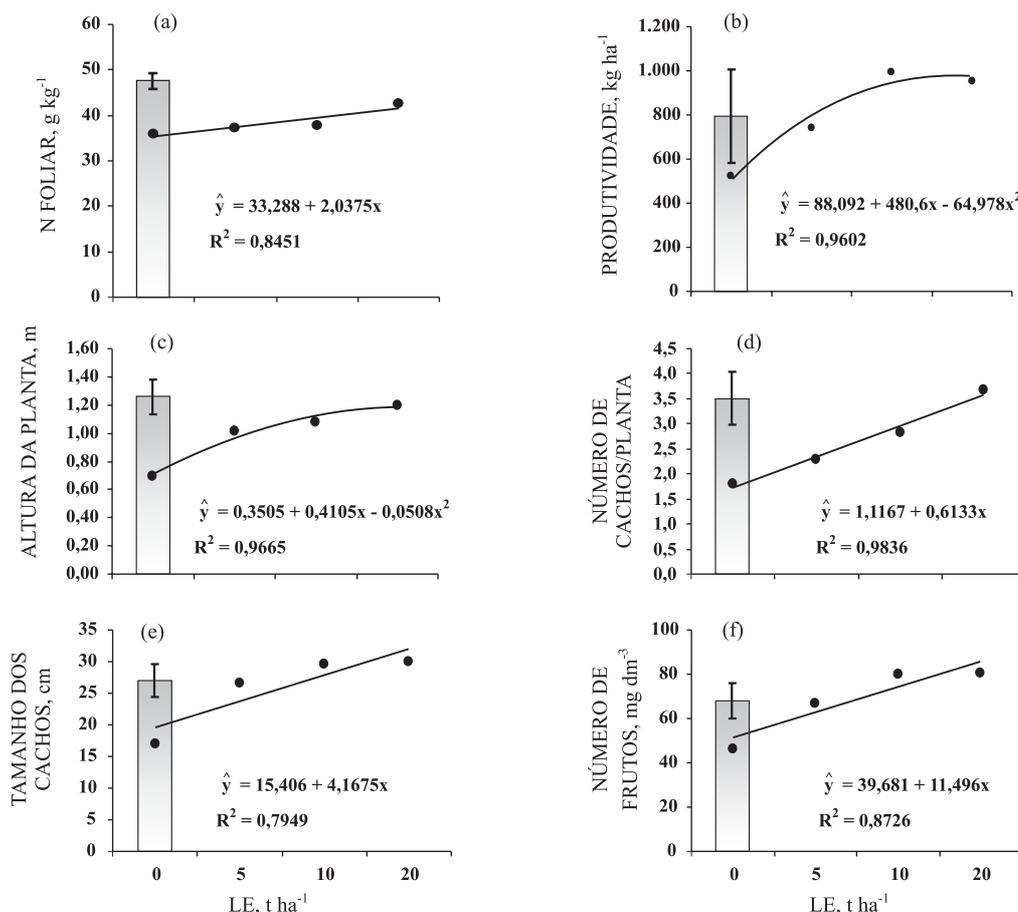


Figura 4. Teor de N nas folhas (a), produtividade (b) e características biométricas da mamoneira (c, d, e, f) cultivada em solo adubado com lodo de esgoto (LE) como fonte de N (0N = 0 LE; 0,5N = 16,5 t ha⁻¹ LE; 1N = 33 t ha⁻¹ LE e 2N = 66 t ha⁻¹ de LE, base seca). O tratamento NPK é representado pela barra vertical com o desvio-padrão da média (n = 4).

Quadro 2. Coeficientes de correlação linear simples (p) entre características biométricas da mamoneira e teor foliar de N em plantas cultivadas em solo tratado com doses de lodo de esgoto (LE)

Característica	p
Altura da planta	(0,6935 ; 0,001)
Nº de cachos/planta	(0,6177 ; 0,001)
Nº de frutos	(0,4965 ; 0,014)
Peso 1.000 grãos	(0,4695 ; 0,021)
Tamanho do 1º cacho	(0,4867 ; 0,016)
Produção do 1º cacho	(0,4437 ; 0,030)

Coefficiente de correlação; $p < \alpha$, pelo teste t a 5 %.

crescimento da planta, pois este nutriente é componente de aminoácidos e proteínas, e a deficiência impossibilita que a planta incorpore C em sua biomassa (Marschner, 1995).

CONCLUSÕES

1. O lodo de esgoto (LE) pode ser uma alternativa à adubação mineral tradicional da mamoneira para fornecer N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, sem perda de produção.

2. A aplicação de 10 t ha⁻¹ de LE resultou num índice de eficiência agrônômica (IEA) 50 % superior à obtida com a adubação mineral.

3. A utilização do LE como fonte de nutrientes não acarretou teores tóxicos de Cu, Fe, Mn e Zn no solo e nem nas plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) Angelo Savy Filho pela indicação do cultivar IAC-Guarani e pela cessão das sementes.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, C.A. & MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. Sci. Flor., 58:59-72, 2000.
- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C. & CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com Biossólido e cultivado com eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:803-816. 2005.

ANJOS, A.R.M. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com Biossólido. Sci. Agric., 57:769-776, 2000.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p. (IAC. Boletim Técnico, 78)

BELTRÃO, M.E.M.; SILVA, L.C. & MELO, F.B. Mamona consorciada com feijão visando à produção de biodiesel, emprego e renda. Bahia Agric., 5:34-37, 2002.

BERTONCINI, E.I.; MATTIAZZO, M.E. & ROSSETO, R. Sugarcane yield and heavy metal availability in two Biosolid-Amended Oxisols. J. Plant Nutr., 27:1243-1260, 2005.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BORGES, M.R. & COUTINHO, E.L.M. Metais pesados no solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. R. Bras. Ci. Solo, 28:543-555, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº375 de 29 de agosto de 2006. Brasília, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006. 32p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>. Acessado em 01/01/2007.

CANECCHIO FILHO, V. & FREIRE, E.S. Adubação da mamoneira. I: Experiências preliminares. Bragantia, 17:243-259, 1958.

CHANG, A.C.; HYUN, H. & PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sludge treated field plots: Plateau or time bomb? J. Environ. Qual., 26:11-19, 1997.

CHIBA, M.K. Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 142p. (Tese de Doutorado)

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E. & OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. R. Bras. Ci. Solo, 32:643-652, 2008a.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E. & OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição da planta. R. Bras. Ci. Solo, 32:653-662, 2008b.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 35 p. (Manual Técnico)

CORREA, R.S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. Pesq. Agropec. Bras., 39:1133-1139, 2004.

- DONEDA, A.; GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; SILVA, S.D.; SANTOS, G.F.; WEILER, D.A.; LONGHI, R. & SCHMALZ, C.R. Resposta da cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) a doses de N, P e K em sistema plantio direto no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. Anais. Gramado, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods. SW-846 Method 3051A. 3.ed. Washington, Office of Solid Waste and Emergency Response, US Government Printing Office, 1986.
- LANGHE, A.; MARTINES, A.M.; SILVA, M.A.C.; SORREANO, M.C.M.; CABRAL, C.P. & MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar 'Iris'. Pesq. Agropec. Bras., 40:61-67, 2005.
- LAVRES JUNIOR, J.; BOARETTO, R.M.; SILVA, M.L. S.; CORREIA, D.; CABRAL, C.P. & MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar 'Iris'. Pesq. Agropec. Bras., 40:145-151, 2005.
- MAGUIRE, R.O.; SIMS, J.T. & COALE, F.J. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. J. Environ. Qual., 29:1225-1233, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.; CAMARGO, O.A. & CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. R. Bras. Ci. Solo, 27:563-574, 2003.
- MASCARENHAS, H.A.A. & TANAKA, R.T. Soja e adubos verdes, uma boa opção na renovação do canavial. Agrônomo, 52:19, 2000.
- NAKAGAWA, J. Efeitos do fósforo em dois cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) Campinas e Guarany. Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1976. 115p. (Tese de Livre Docência)
- NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E.M.; SOUZA, A.P.; FIGUEIREDO, I.C.M. & LIMA, M.M. Uso de bio sólido e água residuária no crescimento e desenvolvimento da mamona. R. Bras. Oleaginosas Fibras, 10:1001-1007, 2006.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RODELLA, A.A. & ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.van & ABREU, C.A., eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.555-576.
- SAVY FILHO, A. Mamona: Tecnologia agrícola. Campinas, EMOPI, 2005. 105p.
- SAVY FILHO, A. Mamoneira: Técnicas de cultivo. Agrônomo, 53:1, 2001.
- SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R. & BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Pesq. Agropec. Bras., 41:879-882, 2006.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEIXE, C.A. & MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. Pesq. Agropec. Bras., 33:1-8, 1998.
- SILVA, T.R.B.; LEITE, V.E.; SILVA, A.R.B. & VIANA, L.H. Adubação nitrogenada em cobertura na mamona em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 42:1357-1359, 2007.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesq. Agropec. Bras., 38:1187-1195, 2003.
- SKEJSTAD, J.D. & TAYLOR, J.A. Does the Walkley-Black methods determine soil charcoal? Comm. Soil Sci. Plant Anal., 30:2299-2310, 1999.
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – ÚNICA. Evolução da produção de cana - Brasil. Disponível em: <http://www.unica.com.br/pages/estatisticas/evol_prod_br.htm> Acessado em: 08 Jan. 2005.

